

Your Ref.: 3007990-0001-PCT-US

Our Ref.: 15894/US

US Patent Application 10/536,699 based on PCT/EP2003/13318

"Magnetic Logic Device"

**Summary of DE 101 44 395**

DE 101 44 395 discloses a circuit (see Fig., ref. no. 2) for a programmable magnetic logic. The circuit (2) includes two gatter elements (G1, G2), each of which having a magneto-resistive layer system (11, 21) with a magnetic information layer (S), a magnetic reference layer (5) and an intermediate, non-magnetic layer (Z). Each information layer (S) is magnetically soft relative to the respective reference layer (R). The reference layers (R) of both layer systems (11, 21) are magnetized (M1, M2) with opposite directions. A control line is arranged above both gatter elements (G1, G2). The control line (15) is adapted for carrying a logic input signal (E). An inverted output signal (A2) is output at one of the layer systems.



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 Patentschrift  
10 DE 101 44 395 C 1

51 Int. Cl.<sup>7</sup>:  
H 03 K 19/18

21 Aktenzeichen: 101 44 395.1-31  
22 Anmeldetag: 10. 9. 2001  
43 Offenlegungstag: -  
45 Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 10. 10. 2002

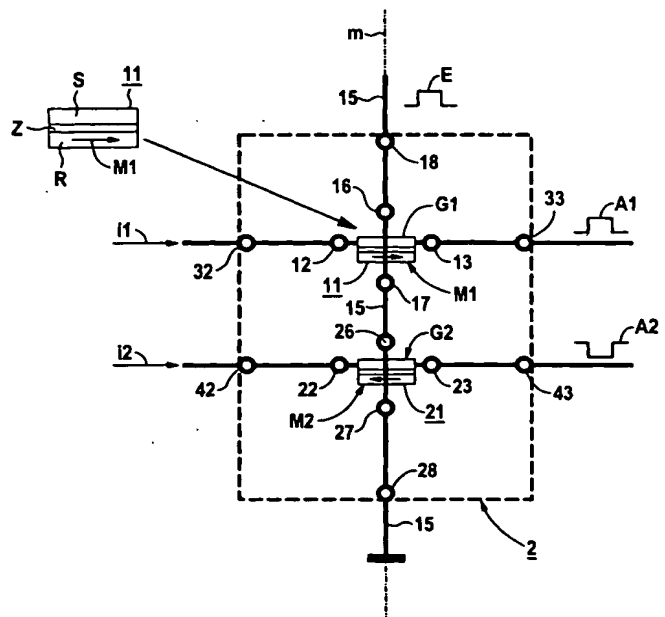
DE 101 44 395 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

- 73 Patentinhaber:  
Siemens AG, 80333 München, DE
- 72 Erfinder:  
Bangert, Joachim, 91052 Erlangen, DE
- 56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:  
WO 94 15 223 A1  
JUN SHEN: Logic devices and circuits based on  
giant magnetoresistance. In: IEEE Transactions on  
Magnetics, Vol. 33, Nr. 6 (Nov. 1997) S.4492-4497;  
BLACK, W.C. und DAS, B.: Programmable logic  
using  
giant-magnetoresistance and spin-dependent tunne-  
ling devices. In: Journal of Applied Physics,  
Vol. 87, Nr. 9 (Mai 2000), S. 6674-6679;  
SPONG, J.K. et al.: Giant Magnetoresistive Spin  
Valve Bridge Sensor. In: IEEE Transactions on  
Magnetics, Vol. 32, Nr. 2 (März 1996), S. 366-371;

VDI-Technologiezentrum Physikalische  
Technologien:  
XMR-Technologien, Technologieanalyse,  
Magnetismus,  
Bd. 2, 1997, S. 11-46;  
MOUGIN, A. et al.: Local manipulation and reversal  
of the exchange bias field by ion irradiation in  
FeNi/FeMn double layers. In: Physical Review B,  
Vol. 63, Feb. 2001, 060409-1 bis 4;

- 54 Baustein der programmierbaren magnetischen Logik
- 57 Der Baustein (2) der programmierbaren magnetischen  
Logik enthält zwei Gatterelemente (G1, G2), die jeweils  
ein magnetoresistives Schichtensystem (11 bzw. 21) mit  
einer magnetischen Informationsschicht (S), einer ma-  
gnetischen Referenzschicht (5) und einer dazwischen lie-  
genden, nicht-magnetischen Zwischenschicht (Z) aufwei-  
sen. Jede Informationsschicht (S) ist magnetisch weicher  
als die zugeordnete Referenzschicht (R). In die Referenz-  
schichten (R) der beiden Schichtsysteme (11, 21) sind Ma-  
gnetisierungen (M1, M2) mit entgegengesetzter Ausrich-  
tung eingeprägt. Über den beiden Gatterelementen (G1,  
G2) liegt eine Steuerleitung (15) für ein logisches Ein-  
gangssignal (E). An einem der Schichtsysteme ist ein in-  
vertiertes Ausgangssignal (A2) abzugreifen.



DE 101 44 395 C 1

**[0001]** Die Erfindung betrifft einen Baustein der programmierbaren magnetischen Logik unter Verwendung von mindestens zwei Gatterelementen, die jeweils ein magnetoresistives Schichtensystem aufweisen. Ein derartiger Baustein geht aus der Veröffentlichung "Journ. of Appl. Phys.", Vol. 87, No. 9, 1. Mai 2000, Seiten 6674 bis 6679 hervor.

**[0002]** In vielen Anwendungen der Logik werden digitale Signale invertiert benötigt, z. B. zu einer Taktung oder an den Ein- und Ausgängen von logischen Gatterelementen. Dies ist z. B. bei der kombinatorischen Logik der Fall, die programmierbare Bausteine (sogenannte Programmable Logic Devices bzw. PLDs) wie insbesondere programmierbare logische Matrixelemente (sogenannte Programmable Logic Arrays bzw. PLAs) erfordert. Eine entsprechende PLA-Einrichtung(-Device) hat sowohl eine programmierbare UND-Matrix als auch eine programmierbare ODER-Matrix. Hierbei wird der Eingang des ersten UND-Matrix mit einem Inverter gepuffert und zum einen direkt der Matrix des Bausteins zur Verfügung gestellt; zum anderen wird dieses Signal erneut invertiert. Der hierfür vorgesehene zweite Inverter erzeugt ebenfalls ein gepuffertes Ausgangssignal, das mit dem Eingang gleichphasig ist. Entsprechende Bausteine müssen auch als Ausgangstreiber der ODER-Matrix eingesetzt werden, wenn wie z. B. bei einer PLA-Einrichtung die Ausgangssignale invertiert und nicht invertiert vorliegen sollen.

**[0003]** Für den Bereich der magnetischen Logik kann als Inverter z. B. ein NOR- oder ein NAND-Gatterelement eingesetzt werden, dessen Eingänge zusammengeschaltet sind. Entsprechende Gatter der magnetischen Logik sind aus der eingangs genannten Literaturstelle bekannt. Sie enthalten jeweils ein magnetoresistives Schichtensystem mit einer Informationsschicht und einer durch eine nicht-magnetische Zwischenschicht beabstandeten Referenzschicht. Die Schichtensysteme können dabei insbesondere vom sogenannten GMR (Giant MagnetoResistance)-Typ oder in gleicher Weise vom TMR (Tunneling MagnetoResistance)- oder SDT (Spin-Dependent-Tunneling)-Typ sein.

**[0004]** Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ausgehend von diesem Stand der Technik einen Baustein der programmierbaren magnetischen Logik anzugeben, der als ein Grundbaustein universell einsetzbar ist und insbesondere zum Aufbau einer PLA-Einrichtung dienen kann.

**[0005]** Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß mit den in Anspruch 1 angegebenen Maßnahmen gelöst. Dementsprechend besitzt der erfindungsgemäße Baustein der programmierbaren magnetischen Logik wenigstens zwei Gatterelemente mit folgenden Merkmalen:

a) Sie weisen jeweils ein magnetoresistives Schichtensystem mit mindestens einer Informationsschicht aus magnetischem Material und mindestens einer durch eine Zwischenschicht aus nicht-magnetischem Material beabstandeten Referenzschicht aus magnetischem Material auf, wobei

a1) die Informationsschicht aus einem Material besteht, das vergleichsweise magnetisch weicher ist als das Material der Referenzschicht,

sowie

a2) in die Referenzschichten der beiden Magnetischichtsysteme Magnetisierungen mit entgegengesetzter Ausrichtung eingeprägt sind,

b) ihnen ist eine Steuerleitung zur Führung eines logischen Eingangssignals derart zugeordnet, dass sie bezüglich der Steuerleitung hintereinander angeordnet sind,

und

c) sie weisen jeweils zwei Systemanschlüsse zum Abgriff eines Ausgangssignals auf, wobei das Ausgangssignal des einen Schichtensystems nicht invertiert und das Ausgangssignal des anderen Schichtensystems invertiert bezüglich des logischen Eingangssignals sind.

**[0006]** Unter einem Baustein wird in diesem Zusammenhang ein elementartiger Aufbau mit einem Trägerkörper verstanden, innerhalb dessen, an oder auf dem die beiden Gatterelemente angeordnet sind, wobei für diese und die Signal(strom)leitung Anschlusspunkte vorhanden sind, die mit entsprechenden Anschlusspunkten am Rande des Bausteins zu verbinden sind.

**[0007]** Bei dem erfindungsgemäßen Baustein wird also eine Programmiermöglichkeit von Referenzschichten zur Realisierung von Inverterfunktionen herangezogen. Dabei ermöglicht die antiparallele Programmierung zweier Referenzschichten bei gleichem Eingangssignal konträre Ausgangssignale. Auf diese Weise ist z. B. eine Reihenschaltung der Bauelemente möglich, die die gleiche Information verarbeiten, aber unterschiedliche Ausgangssignale aufweisen. Die mit dieser Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Bausteins verbundenen Vorteile sind also darin zu sehen, dass mit ihm auf besonders einfache Weise eine Inverterfunktion auszuüben ist. Der Baustein stellt dabei einen Grundbaustein dar, da die Systemanschlüsse der beiden Schichtensysteme in vielfältiger Weise miteinander zu verschalten sind. Je nach Verschaltungsart ergeben sich dabei verschiedene Gattertypen.

**[0008]** Vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Bausteins gehen aus den abhängigen Ansprüchen hervor.

**[0009]** Der erfindungsgemäße Baustein braucht nicht unbedingt einen identischen Aufbau seiner Gatterelemente bzw. seiner Schichtensysteme aufzuweisen, obwohl dies im Hinblick auf einen einfachen Herstellungsprozess von Vorteil ist. Gegebenenfalls können, insbesondere um Ausgangssignale unterschiedlicher Größe oder um unterschiedliche Kennlinien oder Empfindlichkeiten zu erhalten, Schichtensysteme mit unterschiedlichem Aufbau vorgesehen sein. Die Unterschiede können dabei in der Materialwahl der einzelnen Schichten und/oder der Anzahl der Schichten und/oder deren Schichtenfolge bestehen. Auch lassen sich unterschiedliche Schichtdicken vorsehen.

**[0010]** Bevorzugt werden Schichtensysteme mit erhöhtem magnetoresistiven Effekt, insbesondere als XMR-Systeme, ausgebildete Schichtensysteme vorgesehen.

**[0011]** Bei zumindest einem der Schichtensysteme kann die Referenzschicht eine Schicht innerhalb eines Referenzschichtsystems sein. Solche Referenzschichtsysteme können beispielsweise einen künstlichen Antiferromagneten bilden (vgl. WO 94/15223 A).

**[0012]** An den Rändern des Bausteins können jeweils gegenüberliegend zwei Kontaktierungspunkte der Steuerleitung, zwei Kontaktierungspunkte des ersten Schichtensystems sowie zwei Kontaktierungspunkte des zweiten Schichtensystems vorgesehen sein. Damit lassen sich die Schichtensysteme des Bausteins in vielfältiger Weise miteinander verschalten, so dass der Baustein als ein Grundbaustein der magnetischen Logik anzusehen ist.

**[0013]** Die Gatterelemente des Bausteins werden vorteilhaft längs einer gedachten Mittellinie hintereinanderliegend und untereinander beabstandet angeordnet. Damit ist einerseits eine gegenseitige Magnetfeldbeeinflussung auszuschließen; andererseits ist die Herstellung des Bausteins ver-

hältnismäßig einfach.

[0014] Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Zeichnung noch weiter erläutert. Dabei zeigt deren einzige Figur in stark schematisierender Weise den erfindungsgemäßen Baustein.

[0015] Wie in der Figur durch eine gestrichelte Linie veranschaulicht ist, nimmt der allgemein mit 2 bezeichnete Grundbaustein nach der Erfindung bzw. dessen Trägerkörper für weitere Teile z. B. eine Fläche mit einer Rechteckform ein. Der Baustein umfasst mindestens zwei Gatterelemente G1 und G2. Jedes dieser Gatterelemente weist ein an sich bekanntes Mehrschichtensystem 11 bzw. 21 auf, das vorzugsweise einen erhöhten magnetoresistiven Effekt  $\Delta R/R$  zeigt. Der magnetoresistive Effekt dieser Systeme ist dementsprechend gegenüber bekannten magnetoresistiven Einschichtensystemen mit anisotropem magnetoresistiven Effekt ("AMR"-Effekt) größer und liegt insbesondere oberhalb von 2% bei Raumtemperatur. Jedes Schichtensystem ist vorzugsweise entweder giant-magnetoresistiv ("GMR") oder tunnel-magnetoresistiv ("TMR") oder kolossal-magnetoresistiv ("CMR") oder zeigt eine Riesenmagnetoeimpedanz bzw. einen Riesenwechselstromwiderstand ("GMI"). Dabei ist es prinzipiell auch möglich, dass für die Schichtensysteme 11 und 21 unterschiedliche Typen von magnetoresistiven Mehrschichtensystemen gewählt werden. Die Unterschiede entsprechender Schichtensysteme und deren Aufbau sind z. B. in der Broschüre "XMR-Technologien" – Technologieanalyse: Magnetismus, Bd. 2 – des VDI-Technologiezentrums "Physikalische Technologien", Düsseldorf (DE) 1997, Seiten 11 bis 46 dargelegt. Dabei stellt der Begriff "XMR-Technologien" den Oberbegriff des auf den Magnetowiderstandseffekten AMR, GMR, TMR, CMR und GMI beruhenden technischen Know-hows dar. Bevorzugt ist das Schichtensystem des erfindungsgemäßen Bausteins ein GMR- oder TMR-System, wobei es einen sogenannten "Spin-Valve"-Aufbau hat.

[0016] Jedes zu verwendende Schichtensystem 11 bzw. 21 umfasst mindestens eine magnetische Referenzschicht R und eine nachfolgend als magnetische Informationsschicht bezeichnete Detektions- oder Speicherschicht S, zwischen denen sich eine Zwischenschicht Z aus nicht-magnetischem Material befindet. Dabei soll die Referenzschicht im Vergleich zu der Informationsschicht magnetisch härter sein. Damit ist zu erreichen, dass durch ein äußeres Magnetfeld in der Informationsschicht die Magnetisierungsrichtung weitgehend frei einzustellen ist, während sie in der Referenzschicht unverändert bleibt. Für die Informationsschichten S und die Referenzschichten R kommen die bekannten ferromagnetischen Materialien aus dem Stoffsystem Fe-Ni-Co in elementarer oder Legierungsform in Frage. Das nicht-magnetische Material der Zwischenschichten Z hängt vom vorgesehenen XMR-Typ ab und kann metallisch (z. B. Cu für einen GMR-Typ) oder kann halbleitend oder isolierend (z. B.  $Al_2O_3$  für einen TMR-Typ) sein.

[0017] In an sich bekannter Weise kann statt einer einzelnen Referenzschicht R auch ein gegenüber der magnetisch weicheren Informationsschicht S insgesamt magnetisch härteres Referenzschichtensystem vorgesehen werden. Ein entsprechendes Referenzschichtensystem enthält neben einer magnetischen Referenzschicht noch mindestens eine weitere Schicht und kann insbesondere als ein sogenannter künstlicher Antiferromagnet (vgl. die WO 94/15223 A) ausgebildet sein kann. Auch ein Referenzschichtensystem in Form einer Doppelschicht mit einem natürlichen Antiferromagneten ist ebenso gut verwendbar.

[0018] Wie ferner durch gepfeilte Linien an den Schichtensystemen 11 und 21 veranschaulicht sein soll, sind in deren Referenzschichten R jeweils eine feste Magnetisierung

M bzw. M' eingeprägt. Dabei soll die Magnetisierung M des einen Schichtensystems in eine vorbestimmte Richtung weisen, die entgegengesetzt gerichtet ist bzgl. der Richtung der Magnetisierung M' der Referenzschicht in dem anderen Schichtensystem.

[0019] Die Gatterelemente G1 und G2 stellen Standardzellen dar, deren verschiedene Verschaltungsmöglichkeiten Gegenstand der nicht-vorveröffentlichten DE-Anmeldung mit dem Titel "Standardzellenanordnung für ein magnetoresistives Bauelement" vom gleichen Anmeldetag mit dem Aktenzeichen 101 44 385.4 ist.

[0020] Die beiden Gatterelemente G1 und G2 sind längs einer (gedachten) Mittellinie m des Bauteils 2 untereinander beabstandet angeordnet. Für ein in die Gatterelemente induktiv einzuspeisendes Eingangssignal E führt über sie elektrisch isoliert eine Steuerleitung 15 derart, dass sie bezüglich der Stromführungsrichtung in dieser Leitung hintereinander angeordnet sind. Zu dieser Stromführung sind an dem ersten Gatterelement G1 elektrische Eingangsanschlüsse 16 und 17 und an dem zweiten Gatterelement G2 Eingangsanschlüsse 26 und 27 vorgesehen, zwischen denen bzw. zu denen Teilabschnitte des Steuerleitung 15 verlaufen. Darüber hinaus ist das Schichtensystem 11 des ersten Gatterelementes G1 mit Systemausgängen 12 und 13 versehen, an denen ein an dem Schichtensystem zu gewinnendes Ausgangssignal abzugreifen ist, das einem über das Schichtensystem zu führenden Lesestrom 11 überlagert ist. In entsprechender Weise weist das Schichtensystem 21 des zweiten Gatterelementes G2 entsprechende Systemausgänge 22 und 23 auf. Der über dieses System zu führende Lesestrom ist mit 12 bezeichnet, wobei seine Stromführungsrichtung gleich der über das Schichtensystem 11 ist.

[0021] Wie ferner aus der Figur zu entnehmen ist, sind an den Rändern des Bausteins 2 für die einzelnen zu den Gatterelementen führenden elektrischen Leitungen Kontaktierungspunkte vorgesehen. So ist die Steuerleitung 15 an gegenüberliegenden Kontaktierungspunkten 18 und 28 anzuschließen. Die beiden Systemausgänge 12 und 13 des ersten Schichtensystems 11 sind mit gegenüberliegenden Kontaktierungspunkten 32 und 33 und die beiden entsprechenden Systemausgänge 22 und 23 des zweiten Schichtensystems 21 mit gegenüberliegenden Kontaktierungspunkten 42 und 43 verbunden.

[0022] Wird nun, wie in der Figur angedeutet ist, auf die Steuerleitung 15 ein logisches Eingangssignal E, das z. B. eine logische "1" bedeutet, gegeben, so führt dieses Signal in der Informationsschicht S des Schichtensystems 11 des ersten Gatterelementes zu einer vorbestimmten Magnetisierung, die einen davon abhängenden Wert des magnetoresistiven Effektes an dem Schichtensystem zur Folge hat. Der Abgriff dieses Wertes stellt dann ein Ausgangssignal A1 dar, das bei der vorgegebenen Magnetisierungsrichtung M1 in der Referenzschicht R des Schichtensystems 11 beispielsweise gegenüber dem Eingangssignal nicht invertiert ist. Wegen der in entgegengesetzte Richtung weisenden Magnetisierung M2 der Referenzschicht R des Schichtensystems 21 des Gatterelementes G2 ist dann das an diesem Schichtensystem entsprechend abzugreifende Ausgangssignal A2 gegenüber dem Ausgangssignal A1 invertiert. Der Baustein eignet sich folglich besonders für eine PLA-Einrichtung.

[0023] Die Programmierung bzw. Ausrichtung der Magnetisierungen M1 und M2 in den Referenzschichten der beiden Schichtensysteme 11 und 21 kann in an sich bekannter Weise vorgenommen werden. So ist z. B. eine Programmierung durch hinreichend hohe Ströme möglich, die an den Eingangsanschlüssen 16, 17 bzw. 26, 27 der Steuerleitung 15 eingespeist werden können (vgl. z. B. "IEEE Trans. Magn.", Vol. 32, No. 2, März 1996, Seiten 366 bis 371). Bei

Verwendung einer Doppelschicht mit natürlichem Antiferromagneten als Referenz kann die Einprägung der Magnetisierungsrichtung auch durch Ionenbestrahlung erfolgen (vgl. z. B. "Phys. Rev. B", Vol. 63, 1. Februar 2001, 060409(R)-1 bis -4).

beabstandet angeordnet sind.

---

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

---

5

#### Patentansprüche

1. Baustein (2) der programmierbaren magnetischen Logik mit mindestens zwei Gatterelementen (G1, G2), 10
  - a) wobei jedes Gatterelement (G1, G2) ein magnetoresistives Schichtensystem (11 bzw. 21) mit mindestens einer Informationsschicht (S) aus magnetischem Material und mindestens einer durch 15
    - eine Zwischenschicht (Z) aus nicht-magnetischem Material beabstandeten Referenzschicht (R) aus magnetischem Material aufweist, wobei
      - a1) die Informationsschicht (S) aus einem Material besteht, das vergleichsweise magnetisch weicher ist als das Material der Referenzschicht (R), 20
    - sowie
      - a2) in die Referenzschichten (R) der beiden Schichtensysteme (11, 21) Magnetisierungen (M1, M2) mit entgegengesetzter Ausrichtung eingeprägt sind, 25
    - b) wobei den beiden Gatterelementen (G1, G2) eine Steuerleitung (15) zur Führung eines logischen Eingangssignals (E) derart zugeordnet ist, dass sie bezüglich der Steuerleitung (15) hintereinander angeordnet sind, 30
  - und
    - c) wobei jedes Gatterelement (G1, G2) zwei Systemanschlüsse (12, 13 bzw. 22, 23) zum Abgriff 35
      - eines Ausgangssignals (A1, A2) aufweist, wobei das Ausgangssignal (A1) des einen Schichtensystems (11) nicht invertiert und das Ausgangssignal (A2) des anderen Schichtensystems (21) invertiert bezüglich des logischen Eingangssignals (E) sind. 40
2. Baustein nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch Schichtensysteme (11, 21) mit unterschiedlichem Aufbau.
3. Baustein nach Anspruch 1 oder 2, gekennzeichnet durch Schichtensysteme (11, 21) mit erhöhtem magnetoresistiven Effekt. 45
4. Baustein nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Schichtensysteme (11, 21) als XMR-Systeme ausgebildet sind.
5. Baustein nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest bei einem der Schichtensysteme (11 oder 21) die Referenzschicht (R) eine Schicht innerhalb eines Referenzschichtsystems ist.
6. Baustein nach einem der vorangehenden Ansprüche, 55
  - dadurch gekennzeichnet, dass an seinen Rändern jeweils gegenüberliegend zwei Kontaktierungspunkte (18, 28) der Steuerleitung (15), zwei Kontaktierungspunkte (32, 33) des ersten Schichtensystems (11) sowie 60
    - zwei Kontaktierungspunkte (42, 43) des zweiten Schichtensystems (21) vorgesehen sind.
7. Baustein nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Gatterelemente (G1, G2) längs einer gedachten Mittellinie (m) des Bausteins (2) hintereinanderliegend und untereinander 65

- Leerseite -

